

эффективности проведения финансовых расчетов в виртуальной среде интенсивно приближается.

Таблица 5 – Объем добавленной стоимости, произведенной предприятиями сектора цифровых технологий, ден.ед.[1;8].

Показатели	Годы						
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2006/2001
Всего	306	332	360	409	471	632	2,1
В том числе:							
- телекоммуникации	197	207	221	237	245	267	1,4
-услуги информационных технологий	40	50	41	47	68	90	2,3
-оптовая торговля информационными технологиями	61	65	84	104	133	246	4,0
-предоставление услуг информационных технологий	298	322	346	388	446	603	2,0
-производство информационных технологий	8	10	14	21	25	29	3,6

Для повышения эффективности новых финансовых технологий, необходимо:

- 1) расширять материальную основу новых финансовых технологий;
- 2) создать широкую статистическую базу данных о результатах внедрения новых финансовых технологий;
- 3) сформировать универсальную систему показателей оценки результативности внедрения инноваций в финансовой сфере.

Список литературы: 1. On Information Society in Latvia: Collection of statistical data: Central Statistical Bureau of Latvia.-Riga.-2007-. p.87. 2. Latvijas statistiskas gadagrāmata 2007: Central Statistical Bureau of Latvia.-Riga.-2007-.lpp.52.

Поступила в редколлегию 15.05.2008

УДК 621.952.5-82

В.Б. СТРУТИНСКИЙ, В.Н. ТИХЕНКО

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАСТАЧИВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ НА ОТДЕЛОЧНО-РАСТОЧНЫХ СТАНКАХ

Electro-hydraulic system guiding the trajectory of motion of a boring bar cutting edge is considered with laser interferometer usage. Possibility of correction, providing indemnification of not only systematic errors but also random error terms by a forecasting compensating management is rotined.

Введение

При тонком растачивании вращающимся консольным инструментом с постоянным вылетом резца относительно передней опоры шпинделя в связи с наличием геометрических, кинематических и динамических погрешностей, обусловленных различными элементами технологической системы, под действием силовых возмущений возникают смещения вершины резца по нормали к обрабатываемой поверхности [1]. В частности, на точность формы в продольном сечении растачиваемых отверстий в основном влияют размерный износ резцов и их температурное удлинение, а также непрямолинейность направляющих. При растачивании глубоких отверстий погрешности в продольном сечении возрастают из-за податливости борштанги. Непараллельность направления движения стола по отношению к оси шпинделя делает отверстие эллиптическим в поперечном сечении (отклонение от круглости). Кроме того, параметры получаемого эллипса зависят от расположения главных осей жесткости шпиндельной головки и общей податливости технологической системы станка. Возникает задача управления точностью формы детали в продольном или поперечном сечении, когда важно минимизировать величину отклонений формы. С использованием оперативной информации о смещениях инструмента от номинальной траектории можно (без изменения режимов резания) обеспечить управляемое перемещение резца в пространстве с целью стабилизации его вершины на заданной траектории.

Известны исполнительные устройства на основе активных упругих компенсаторов, выполненных из пьезокерамической керамики и способных в небольших пределах изменять свои геометрические размеры под действием управляющего электрического поля [2]. Недостатком является наличие запаздывания и гистерезиса перемещений, а также невозможность обеспечивать большие усилия. Кроме того, для передачи электрических сигналов от датчика, расположенного на вращающемся инструменте, к регулятору с устройствами коррекции и от силового преобразователя к пьезокомпенсатору необходим токосъемник, что снижает надежность всего устройства.

Для обеспечения высокой стабильности выхода резца на заданный размер перед началом растачивания при многократном позиционировании, а также для бесрисочного отвода резца в расточных борштангах применяют упругое деформирование резцедержателя или стержня борштанги [3]. Недостатком таких конструкций является наличие зазоров и сил контактного трения в подвижных соединениях, что приводит к гистерезису.

Целью данной статьи является изложение некоторых результатов разработок и исследований гидравлических систем управления точностью растачивания отверстий на отделочно-расточных станках, выполненных в Одесском национальном политехническом университете на кафедре металлорежущих станков, метрологии и сертификации.

Основная часть

Рациональным способом повышения точности обработки при тонком растачивании является управление положением формообразующего элемента – режущей кромки резца борштанги – при помощи системы автоматического управления. Для этого была разработана и исследована шпиндельная головка с гидравлической системой управления траекторией вращения резца борштанги [4]. Микроперемещения вершины резца осуществлялись в результате изменения давления рабочей жидкости в специальной полости на фланце борштанги. Полость расположена эксцентрично относительно продольной плоскости шпинделя. Первоначально пульсирующее давление в полости борштанги создавалось поворотной управляющей втулкой и вращающимся золотником. Угловое положение втулки устанавливалось после обработки первой детали по результатам измерений расточенного отверстия таким образом, чтобы отверстия во втулке и вращающемся золотнике совпадали в момент приближения вершины резца к большей оси эллипса. При повышении давления в полости фланец борштанги деформировался, что приводило к радиальному смещению вершины резца в направлении к оси вращения шпинделя (на окружность радиуса R). При снижении давления за счет упругих свойств борштанги восстанавливалось прежнее положение вершины резца. Таким образом, борштанга выполняла функцию гидромеханического звена с некоторым передаточным коэффициентом. В дальнейшем для управления давлением в полости использовался электрогидравлический усилитель. Для устранения гистерезиса, связанного с усилителем, вводилась дополнительная обратная связь по давлению в полости.

Проводилось компьютерное моделирование борштанги методом конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS [5]. Определялись перемещения вершины борштанги и напряжения, возникающие при этом в теле борштанги. Например, при изменении давления в полости на 1 МПа величина перемещения вершины менялась на 5 мкм, причем зависимость была линейной (кроме небольшого участка в начале

характеристики). Изменять эту характеристику можно путем выбора площади полости и ее глубины (за счет толщины стенки фланца в месте расположения полости). Однако увеличение площади и уменьшение глубины полости ограничено. Кроме того, при больших частотах вращения борштанги одностороннее расположение полости может приводить к дисбалансу.

Для снижения неуравновешенности и повышения точности регулирования была предложена схема электрогидравлической системы с двумя полостями фланца борштанги (рис. 1). Система содержит борштангу 12 с полостями, расположенными симметрично относительно продольной оси борштанги. Через отверстия в шпинделе 1, на котором закреплена борштанга с резцом 15, каждая полость соединяется с одним из приемных окон 10 электрогидравлического усилителя 7, а через дроссели 2 и 11 с баком насосной установки. Электрогидравлический усилитель содержит поворотную струйную трубку 8 и электромеханический преобразователь 9. В состав системы в качестве измерительного устройства входит когерентный излучатель 4, наклонное зеркало 3 с центральным отверстием, призматический светоотражатель 13, фотоприемник 5, устройство ЧПУ 6, имеющее аналого-цифровой и цифро-аналоговый преобразователи.

Луч от когерентного лазерного излучателя через центральные отверстия в наклонном зеркале, шпинделе и борштанге попадает на призматический светоотражатель, отражается в обратном направлении на наклонное зеркало, а затем отражается от зеркала в фотоприемник. Перемещения призматического светоотражателя регистрируются фотоприемником, который генерирует сигналы, пропорциональные величине перемещения резца (по двум взаимноперпендикулярным осям, которые расположены в поперечном сечении борштанги). При наличии перемещения резца сигналы от фотоприемника поступают в устройство ЧПУ, где сравниваются с заданным сигналом. Если положение резца отличается от заданного, устройство ЧПУ подает команду на электромеханический преобразователь.

Под действием электромагнитных сил происходит смещение струйной трубки, что вызывает изменение давлений в полостях борштанги и деформации ее фланца. Дроссели 2 и 11 обеспечивают подпор на сливных магистралях и настройку давления в каждой полости во время наладки системы. Преимуществом данной системы является то, что информация о микроперемещениях резца осуществляется при помощи бесконтактного метода измерений с наибольшей точностью, достижимой сегодня. За счет приближения оси измерений к вершине резца достигается минимизация эффекта Аббе. Эта информация используется для коррекции процесса растачивания непосредственно во время обработки. Современные электрогидравлические усилители способны обрабатывать до 100-120 сигналов в секунду, что позволяет использовать систему при максимальной частоте вращения борштанги до 3000 мин⁻¹.

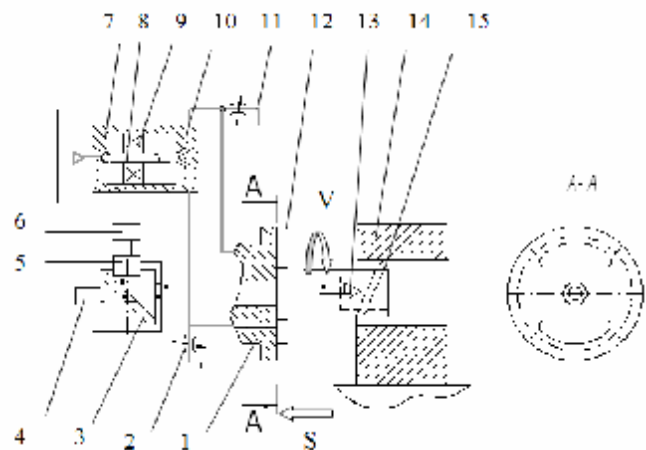


Рис. 1 – Упрощенная схема электрогидравлической системы управления траекторией движения вершины резца расточной борштанги с использованием лазерного интерферометра

При необходимости в рассмотренной схеме с двумя полостями можно подавать рабочую жидкость только в одну полость, при этом перемещения вершины резца при том же давлении значительно возрастают. Это может быть использовано в конце цикла обработки для беспрерывного отвода резца.

При моделировании поведения борштанги в программном комплексе ANSYS (рис. 2) изучались зависимости перемещений вершины резца от разности давлений в полостях, как в осевом, так и в радиальном направлениях.

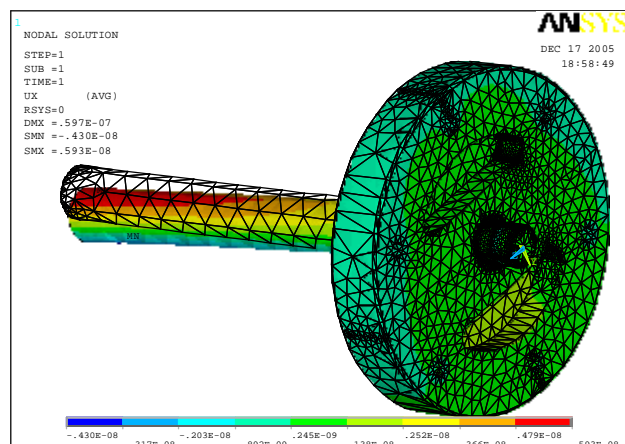


Рис. 2 – Пример моделирования перемещения вершины резца борштанги с двумя полостями в программном комплексе ANSYS

Перемещения в осевом направлении были настолько малы по сравнению с радиальными перемещениями, что их можно не учитывать. Как показал анализ одной из зависимостей радиальных перемещений R (рис. 3) после начального участка (от 0 до 1,3 МПа) при изменении давления p в полости на 1 МПа величина перемещения вершины линейно изменялась примерно на 0,05 мкм. Это значение может быть еще уменьшено за счет увеличения глубин полостей, но при этом требуется проверка напряжений, возникающих во фланце.

Обычные методы коррекции, обеспечивающие компенсацию только систематических погрешностей, могут оказаться недостаточными при выполнении сверхпрецизионной обработки, когда влиянием случайных погрешностей нельзя пренебрегать. В последние годы появился новый метод повышения точности обработки – прогнозирующее компенсирующее управление (ПКУ) [6, 7]. Критерием при ПКУ является минимальная величина отклонений режущего инструмента от заданной траектории. Метод предусматривает измерение погрешностей обработки поверхности детали, обработку результатов измерений, стохастическое моделирование, прогнозирование и компенсирующее управление. Все этапы реализуются непосредственно в процессе обработки в режиме реального масштаба времени.

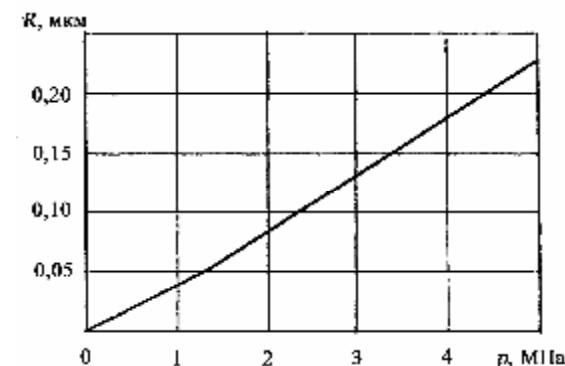


Рис. 3 – Перемещения вершины резца борштанги с двумя полостями

Обычные методы коррекции, обеспечивающие компенсацию только систематических погрешностей, могут оказаться недостаточными при выполнении сверхпрецизионной обработки, когда влиянием случайных погрешностей нельзя пренебрегать. В последние годы появился новый метод повышения точности обработки – прогнозирующее компенсирующее управление (ПКУ) [6, 7]. Критерием при ПКУ является минимальная величина отклонений режущего инструмента от заданной траектории. Метод предусматривает измерение погрешностей обработки поверхности детали,

обработку результатов измерений, стохастическое моделирование, прогнозирование и компенсирующее управление. Все этапы реализуются непосредственно в процессе обработки в режиме реального масштаба времени.

Стохастическое моделирование базируется на описании стохастических процессов для чего требуются авторегрессионные модели (Auto-Regressive model) со скользящим средним. Если ЭВМ станка имеет недостаточное быстродействие, то ограничиваются просто авторегрессионной моделью. При стохастическом моделировании инструментальные погрешности представляются моделью с простой структурой (авторегрессионная модель), которая не требует установления сложных причинно-следственных связей между различными типами погрешностей и их источниками. Важным преимуществом является то, что можно объяснить как случайные, так и повторяющиеся составляющие погрешности. Модель временного ряда представляет собой уравнение, которое связывает наблюдение, полученное в некоторый конкретный момент времени, с наблюдениями, полученными ранее по той же и/или другим характеристикам изучаемой переменной. Порядок авторегрессионной модели определяется из соображений затрат времени на вычисления с учетом возможностей ЭВМ. Из множества моделей для описания динамики временных рядов чаще всего используются три: модель белого шума, авторегрессионная модель первого порядка и авторегрессионная модель второго порядка.

Функционирование системы управления цилиндричностью происходит в определенной последовательности. Вначале при помощи лазерного интерферометра определяется отклонение от цилиндричности растачиваемого отверстия в виде двух составляющих $C_i(X)$ и $C_i(Y)$, которые передаются в устройство ЧПУ (управляющую ЭВМ). Затем воссоздаются данные о погрешности с целью определения действительного отклонения от цилиндричности $C_i(R)$ в направлении воздействия режущей кромки резца борштанги.

На основе анализа временных рядов полученных данных создается авторегрессионная модель отклонения от цилиндричности в следующем виде [6]

$$E_i = \varphi_1 E_{i-1} + \varphi_2 E_{i-2} \dots + \varphi_n E_{i-n} + a_i, \quad (1)$$

где E_i - погрешности обработки, наблюдаемые в i -й момент времени;

φ_j - параметры авторегрессии;

a_i - дискретный белый шум, причем $E(a_i) = 0$ и $E(a_i a_{i-k}) = \delta_k \sigma_a^2$;

где δ_k - дельта-функция Кронекера;

σ_a^2 - дисперсия белого шума.

Отклонение от цилиндричности определяемое по авторегрессионной модели, корректируемой в каждый период i замера, прогнозируется на k шагов вперед, исходя из текущих данных в соответствии со следующим выражением

$$\hat{E}_i(k) = \sum_{j=1}^{k-j} \varphi_j \hat{E}_i(k-j) + \sum_{j=k}^n \varphi_j E_{i+k-j}, \quad (2)$$

где $\hat{E}_i(k)$ - прогнозируемое значение.

В заключение системе ГП выдается управляющая компенсирующая команда, пропорциональная прогнозируемому отклонению. Несмотря на то, что измерялись не сами погрешности обработки, а перемещения резца, применение ПКУ вполне уместно, т.к. исходные данные для построения стохастической модели получены непосредственно в процессе растачивания. Путем анализа результатов предыдущих и текущих измерений погрешности обработки могут быть определены перед их появлением, поэтому система управления успевает скомпенсировать ожидаемую погрешность обработки.

Выводы

Рассмотренная электрогидравлическая система управления траекторией движения вершины резца расточной борштанги с использованием лазерного интерферометра позволяет обеспечить сверхпрецизионную обработку на отделочно-расточных станках (включая безрисочный отвод резца в конце цикла). При этом минимизируются величины отклонений формы детали в продольном или поперечном сечении. С помощью прогнозирующего компенсирующего управления появляется возможность коррекции, обеспечивающей компенсацию не только систематических погрешностей, но и случайных погрешностей обработки. Система может быть реализована как в новых конструкциях шпиндельных узлов, так и при модернизации существующих отделочно-расточных станков.

Список литературы: 1. Схиртладзе А.Г. Повышение точности растачивания отверстий // Технология машиностроения, 2006, №2. – С. 15–17. 2. Мещеряков Р.К., Никольский А.А., и др. Управление точностью обработки при растачивании отверстий // Вестник машиностроения, 1988, № 9. – С. 30–33. 3. Бромберг Б.М. Тонкое растачивание отверстий без повреждения их поверхности при выводе резца // Станки и инструмент, 1988, №6. – С. 19–23. 4. Линчевский П.А., Джугурян Т.Г., Тихенко В.Н. Расширение функциональных возможностей гидроприводов отделочно-расточных станков // Збірник наукових праць Кіровоградського держ. техн. ун-ту. – Кіровоград. 2003. Вип. 13. – С. 98–103. 5. Тихенко В.Н., Жеглова В.М. Компьютерное моделирование упругих деформаций борштанги привода микроперемещений отделочно-расточного станка // Труды Одес. политехн. ун-та. – Одесса. 2005. Вип. 2(24). – С. 57 – 60. 6. Kim K., Eman K.F., Wu S.M. In-Process Control of Cylindricity in Boring Operations // Journal of Engineering for Industry, 1987, №4, p. 291-321. 7. Wu S.M., Ni J. Precision Machining without Precise Machinery // Annal of the CIRP. – 1989. – Vol. 38(1). – P. 533 – 536.

Поступила в редколлегию 15.05.2008